

(19) **RÉPUBLIQUE FRANÇAISE**  
**INSTITUT NATIONAL**  
**DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE**  
**PARIS**

(11) N° de publication :  
(à n'utiliser que pour les  
commandes de reproduction)

**2 553 522**

(21) N° d'enregistrement national :

**83 16343**

(51) Int Cl<sup>4</sup> : G 01 V 1/00; E 02 D 1/00, 33/00; E 21 B 47/00, 49/00.

(12)

# **DEMANDE DE BREVET D'INVENTION**

**A1**

(22) Date de dépôt : 14 octobre 1983.

(30) Priorité :

(43) Date de la mise à disposition du public de la demande : BOPI « Brevets » n° 16 du 19 avril 1985.

(60) Références à d'autres documents nationaux apparentés :

(71) Demandeur(s) : *Société à responsabilité limitée dite : Société française de stockage géologique GEOSTOCK. — FR.*

(72) Inventeur(s) : Pierre de Sloovere.

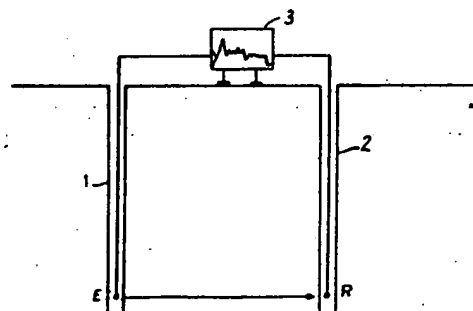
(73) Titulaire(s) :

(74) Mandataire(s) : Capri.

(54) Procédé d'auscultation d'un massif en vue d'obtenir une évaluation de la stabilité du terrain.

(57) On émet un signal sismique E et l'on transforme le signal reçu en R pour en obtenir le spectre de fréquence.

On dispose de l'amplitude du signal en fonction de la fréquence. La transmission des basses fréquences 0-200 Hz caractérise un terrain instable, tandis qu'un terrain résistant se caractérise par l'écroulement de la bande de fréquences 0-200 Hz et l'accroissement relatif des fréquences comprises entre 200 et 900 Hz.



- 1 -

Procédé d'auscultation d'un massif en vue d'obtenir une  
évaluation de la stabilité du terrain.

La présente invention a pour objet un procédé d'examen  
de la structure d'un terrain par auscultation des sols,  
dont les caractéristiques mécaniques ne sont pas détermi-  
nées. En particulier, la présente invention se rapporte à  
5 un procédé d'examen de la structure des sols destiné à  
évaluer l'évolution de sa structure, notamment après injec-  
tion de matériaux utilisés pour le stabiliser.

Les injections sont réalisées pour stabiliser un sol, au  
10 moins temporairement, pour permettre l'exécution de certains  
travaux. Au moyen de tubes enfoncés dans le sol, on injecte  
du ciment ou des résines synthétiques, à diverses profon-  
deurs et dans diverses directions. Jusqu'à présent, il n'a  
pas été possible de savoir si les injections pratiquées  
15 étaient ou non efficaces. Même en appliquant des coeffi-  
cients de sécurité élevés, on ne peut être certain d'avoir  
réalisé la stabilisation désirée.

Avec la sismique usuelle, on utilise jusqu'à présent le  
20 temps de propagation ou la vitesse de propagation des ondes  
à travers les massifs, mais ni l'étude des fréquences ni  
celle du déphasage du signal relié à l'amortissement intrin-  
sèque.

25 Conformément au procédé selon l'invention, on choisit un  
point d'émission et au moins un point de réception, la  
ligne joignant les deux points traversant la zone à con-  
trôler, puis on produit au point d'émission des vibrations  
mécaniques, entretenues ou non, et l'on mesure les spec-  
30 tres d'émission de la vibration émise et de réception de la  
vibration reçue au moyen d'un analyseur de spectre, la  
réduction d'amplitude des vibrations aux basses fréquences  
et l'apparition de vibrations de fréquences plus élevées,  
au point de réception, rendant compte de l'amélioration

des caractéristiques mécaniques du terrain.

Le procédé de l'invention permet de contrôler par exemple que la qualité d'un sol s'est améliorée à la suite d'une  
5 injection, qu'un ouvrage ancien ne s'est pas dégradé avec le temps, la qualité d'un ouvrage tel qu'un barrage, en terre damée, la qualité d'un contact rocher/béton pour un bouchon de galerie, etc.

10 L'originalité du procédé repose sur le fait que l'on utilise l'analyse en fréquence dans des espaces dont on ne connaît pas ou dont on connaît mal, la dimension et les caractéristiques géomécaniques.

15 D'autres caractéristiques de l'invention apparaîtront au cours de la description qui va suivre, donnée à titre d'exemple non limitatif en regard des dessins annexés, donnés à titre d'illustration de l'invention.

20 Sur les dessins :

- la figure 1 est une représentation schématique de la mise en oeuvre du procédé de l'invention ;
- les figures 2 à 5 sont des enregistrements de spectres correspondant à un terrain d'alluvions grossières, avant  
25 injection, la figure 2 étant le spectre d'émission, la figure 3, le spectre de réception sur le capteur vertical et les figures 4 et 5 les spectres de réception sur les capteurs horizontaux, suivant deux directions perpendiculaires ;
- 30 - les figures 6 à 9 sont des figures analogues aux figures 2 à 5, après stabilisation du terrain ;
- la figure 10 est un graphique de deux spectres superposés résumant le principe de la présente invention ;
- la figure 11 représente schématiquement l'application de  
35 l'invention à l'auscultation d'une paroi ;
- les figures 12 et 13 représentent schématiquement deux

- 3 -

autres exemples d'application de l'invention; et,  
- les figures 14 et 15 représentent schématiquement encore un autre exemple d'application.

- 5 Un mode de mise en oeuvre du procédé selon la présente invention est représenté schématiquement sur la figure 1. Le terrain à étudier est situé entre deux forages 1 et 2, qui peuvent être par exemple des forages d'injection pratiqués dans un terrain à stabiliser en vue d'une construction quelconque. Dans ce type de travaux, on pratique de nombreux forages et il est possible d'appliquer le procédé de l'invention à partir d'au moins un forage et de relever des spectres dans plusieurs autres.
- 10
- 15 Ces opérations seront effectuées avant les injections puis, en cours de travaux, jusqu'à l'obtention d'un résultat satisfaisant du point de vue stabilisation. On utilise un analyseur spectral ou modal 3, relié au récepteur R et accessoirement à l'émetteur E. L'émetteur du champ d'ondes
- 20 peut être constitué simplement par une explosion, un choc direct sur une enclume placée au fond, un choc indirect sur une enclume placée en tête d'un train de tige ou tout autre émetteur de choc mécanique utilisant par exemple un procédé électromagnétique quelconque, ou plus simplement encore
- 25 tout dispositif pouvant vibrer et transmettre ses vibrations au sol ou à la structure à étudier.

Le récepteur peut être un transducteur quelconque mono ou multidirectionnel, par exemple du type géophone (capteur de vitesse) ou capteur d'accélération. Ces types de récepteurs sont bien connus dans la profession.

30

On peut utiliser un analyseur de spectre en temps réel ou analyseur modal, relié au récepteur, et suivant le type d'émetteur à l'émetteur ou à un récepteur situé suffisamment près de l'émetteur pour enregistrer le signal source.

35

Les analyseurs de spectre existent depuis dix ans environ, les modèles suffisamment rapides et bon marché sont récents.

On peut également enregistrer les signaux sur bande magnétique et les analyser par la suite avec un analyseur en laboratoire; ce qui permet d'éviter le transport de matériel délicat sur le terrain.

Selon un mode d'exécution du procédé de l'invention, on émet un signal sismique qui est un signal extrêmement riche, puisque l'on génère plusieurs types d'onde, dont au moins des ondes de compression et des ondes de cisaillement. De plus, le signal est généralement émis sur une large bande de fréquence, et l'avantage de l'analyse en fréquence est qu'elle permet l'étude approfondie du contenu en fréquence et en amplitude de l'ensemble du signal.

Autrement dit, on étudie ainsi le retour à l'équilibre d'un terrain soumis à une vibration mécanique quelconque, ce qui n'a jamais été réalisé avec la sismique usuelle qui se limitait à la seule étude de la vitesse de propagation du champ d'ondes créé à travers le terrain.

Il est bien connu que l'analyseur de spectre donne accès au spectre d'amplitude et au spectre de phase. Or, ces deux variables dépendantes de la fréquence cachent en fait une multitude de paramètres qui signent le matériau ou la structure beaucoup plus qu'une vitesse de propagation d'onde sismique. On prend l'exemple du contrôle d'injection. Il y a les trois zones habituelles :

- la zone d'émission,
- la zone de transmission, et
- la zone de réception.

Zone d'émission. Si on prend comme émetteur une enclume scellée au terrain par un système mécanique quelconque, le

spectre émis dans le terrain va dépendre de :

- . la dimension de l'enclume et du marteau,
- . ses caractéristiques élastiques,
- . des caractéristiques visco-élastiques du terrain encaissant.

- 5 C'est en fait un problème d'interaction dynamique sol/structure dont les formules sont bien connues dans certains cas particuliers entre autres, celui de la plaque.

Zone de transmission. Dans cette zone, on peut admettre

- 10 temporairement qu'on est dans le domaine de comportement visco-élastique du massif. On voit que quatre facteurs ont été modifiés après l'injection :

- . la masse qui a crû faiblement,
- . le module d'élasticité qui a crû fortement,
- 15 . la raideur qui a crû également fortement,
- . le coefficient d'amortissement qui a diminué.

Sans pour autant être lié par la théorie avancée, il semble que directement ou indirectement (pour la masse par exemple) ces quatre facteurs concourent à produire un décalage du

- 20 spectre vers les hautes fréquences.

Zone de réception. Equivalente à la zone d'émission en plus simple (il n'y a pas de choc).

- 25 Le spectre enregistré dépend donc du comportement mécanique de ces trois zones et principalement dans le cas du contrôle d'injection de la propagation dans la zone de transmission. Dans le cas présent, on a constaté sur les spectres de réception que l'amplitude de la vibration est maximum pour une fréquence nettement plus élevée qu'avant injection, c'est ce que l'on appelle un déplacement du spectre vers les hautes fréquences.
- 30

- Sur les figures 2 à 9, on porte en abscisse les fréquences et en ordonnée les vitesses de vibration, dites vitesses particulières, qui ne doivent pas être confondues avec les
- 35

vitesses de propagation. Les figures 2 à 5 sont relatives aux mesures effectuées avant injection. L'expérience a été effectuée dans un terrain d'alluvions grossières. La figure 2 représente le spectre d'émission, riche en basses fréquences, jusqu'à 200 Hz. La figure 3 représente le spectre de réception vertical. Les figures 4 et 5 représentent les spectres de réception horizontaux dans deux directions perpendiculaires à une distance comprise entre environ 80 cm et 20 m, de préférence entre 1 et 5 m. Sur les trois spectres de réception, on constate que les spectres sont caractérisés par une bande passante allant de, environ 20 à environ 400 Hz. Les figures 6 à 9 sont relatives aux mêmes opérations après injection, le terrain ayant reçu une certaine stabilisation. Le spectre d'émission est modifié, la bande passante est pratiquement identique tandis que les pics d'amplitude ont disparu, ce qui donne au diagramme un aspect lissé. Sur les récepteurs (figs. 7 à 9), on constate que l'amplitude des vitesses particulières aux basses fréquences comprises entre 0 et 400 Hz, est considérablement réduite et on voit apparaître un spectre très riche en fréquences plus élevées, comprises entre 500 et 900 Hz.

Ceci est résumé sur la figure 10 où l'on voit un spectre d'émission type SE, et un spectre de réception SR, caractéristique d'un sol stabilisé. Dans le cas où le sol n'est pas ou est mal stabilisé, le spectre de réception a l'allure du spectre d'émission légèrement étalé vers la droite.

Le procédé de l'invention peut également être appliqué à un système décrit à la figure 11 qui représente un puits 5 dans lequel on déplace un équipage 6 portant un émetteur E et un récepteur R pour ausculter la paroi. Une opération analogue pourrait être effectuée horizontalement dans une galerie.

Ces possibilités croisées de l'analyse en fréquence permettent sur des distances assez courtes de nombreuses variantes d'application du procédé selon l'invention.

- 5 Le procédé est bien adapté aux sols tendres contenant des structures indurées et à tous les domaines où l'on doit observer des variations de caractéristiques géomécaniques. A ce type d'applications, se rattachent :
- le contrôle de compactages,
  - 10 - le contrôle d'injection (en travaux publics, mais aussi pour le back-filling),
  - le contrôle de maçonnerie ancienne dégradée (tunnel en maçonnerie, viaducs anciens, routes de barrage),
  - la recherche de structure à l'intérieur des sols tels
  - 15 murs enfouis, pieux, etc...,
  - la dimension de structures auxquelles on a accès tels pieux, barrettes, etc.

- D'autres voies ne sont pas à négliger, telle l'étude de la
- 20 fracturation du massif rocheux. On peut considérer comme un massif, au sens de l'application de la présente invention, pour l'étude de sa résistance, une structure dont la dimension, dans une direction généralement perpendiculaire au trajet joignant l'émetteur au récepteur, est au moins égale
- 25 à la moitié de ce trajet.

- A titre d'exemples d'application du procédé de l'invention, la figure 12 représente une vue en coupe d'un mur, sur lequel on a placé un émetteur  $E_1$  et trois récepteurs  $R_1, R_2, R_3$ .
- 30 Dans le cas d'un mur dégradé, on observera des spectres riches en basses fréquences, tandis qu'on notera des spectres riches en hautes fréquences pour un mur sain. Il faut cependant que le mur ait un volume suffisant pour être considéré comme un massif. La figure 13 représente un puits
- 35 8 avec un train 9 de tiges de forage portant un trépan 10 à l'extrémité. L'émetteur est constitué par les chocs



provoqués par la pénétration de l'engin de forage, qui met le sol en vibration. Un récepteur  $R_1$ , placé sur le train de tiges, permet d'obtenir la réponse du sol en fréquence.

- 5 La figure 14 représente une galerie 12 creusée dans un massif 16. 15 et 15' représentent un forage à l'avancement. L'outil de forage sert d'émetteur et l'on place des capteurs  $R_A$ ,  $R_B$ ,  $R_C$ ,  $R_D$  autour de la paroi frontale de la galerie, représentée sur la figure 15.

10

- Le procédé de l'invention s'applique particulièrement au contrôle de compactage, par exemple de compactage de barrages, de remblais routiers et autres analogues, l'émission et la réception pouvant même s'effectuer en surface. On
- 15 sait que la sismique est d'autant plus efficace qu'elle recoupe par transparence un massif et que la longueur de la base d'auscultation est longue par rapport à la zone à ausculter. Elle n'est donc pas très efficace en front de taille de galerie.

20

- Conformément à l'invention, on tire directement parti des forages réalisés au jumbo pour analyser ainsi la réponse en temps et en fréquence sur des panneaux dont la tige de forage est la droite d'intersection et les têtes de forage,
- 25 les génératrices de choc. Les capteurs sismiques sont placés, soit en paroi au front de la galerie, soit éventuellement dans d'autres forages déjà créés.

- Les résultats sont enregistrés en temps réel par un analyseur de spectre et stockés sur disquette. On devrait voir de petites variations de vitesse lorsque des discontinuités sont rencontrées, mais surtout des variations spectrales ; les fractures devant filtrer les ondes de cisaillement, jouant le rôle d'un filtre passe-bas, on va voir apparaître
- 30 des variations spectrales tant en amplitude qu'en phase.
- 35

Les avantages du procédé sont :

- la mesure en temps réel,
- une gêne minimum pour le chantier, et
- l'utilisation des chocs provoqués par la tige du Jumbo.

5

Les applications ci-dessus ne sont pas limitatives, le procédé consistant essentiellement à analyser le spectre de fréquence reçu par transmission à travers le sol étudié pour apprécier sa structure, par l'accroissement des fréquences.

10

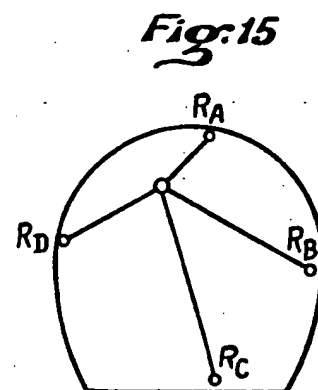
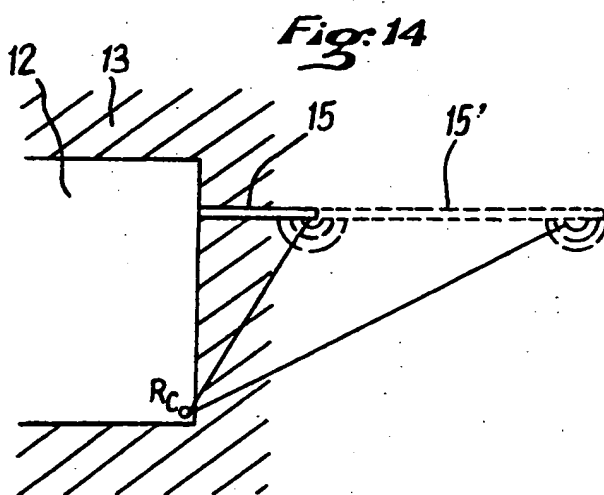
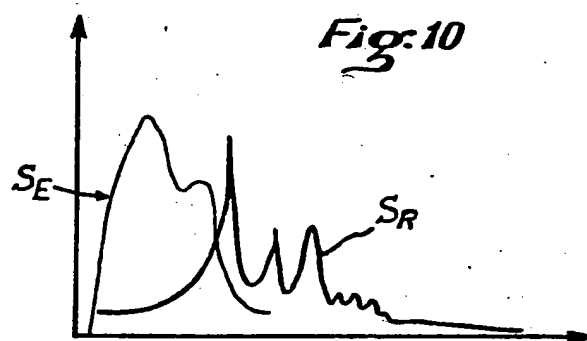
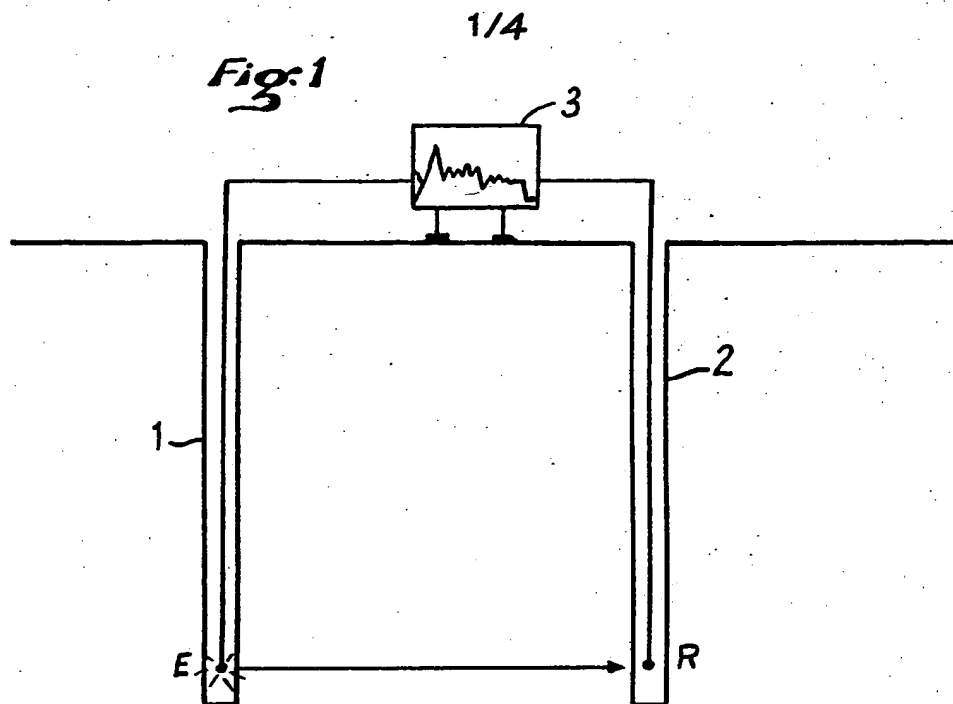
Il va de soi que les modes d'application décrits ne sont que des exemples et qu'ils pourraient être modifiés, sans sortir du cadre de la présente invention, notamment par substitution d'équivalents techniques.

## Revendications

1. Procédé d'examen d'un massif par auscultation en vue d'obtenir une évaluation de sa stabilité ou de sa résistance, au moyen du passage à travers le massif d'un signal sismique, caractérisé en ce que l'on choisit un point  
5 d'émission et au moins un point de réception, la ligne joignant le point d'émission au point de réception traversant la partie du massif à étudier, on produit au point d'émission des vibrations mécaniques, entretenues ou non, et on mesure les spectres d'émission de la vibration émise et  
10 le spectre de réception de la vibration reçue, on interprète les spectres: le passage des basses fréquences comprises entre 0 et environ 200 Hz indiquant un massif de caractéristiques faibles, les fréquences supérieures à 200 Hz et plus particulièrement les fréquences comprises entre  
15 500 et 900 Hz indiquant un massif résistant, ces valeurs pouvant être décalées en fonction de la nature du massif.
2. Procédé selon la revendication 1, appliqué au contrôle d'injection, caractérisé en ce que l'on effectue des relevés  
20 de spectre de fréquence avant le début des injections, puis après injections, les injections étant continuées, si les spectres de fréquence obtenus ne sont pas entre autres suffisamment déplacés vers les hautes fréquences.
- 25 3. Procédé selon la revendication 2, caractérisé en ce que l'on utilise les forages d'injection pour placer l'émetteur et le récepteur.
4. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que  
30 l'on mesure les spectres d'émission et de réception sur un mur de volume suffisant pour être considéré comme un massif.
5. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que  
35 l'on mesure les spectres d'émission et de réception pour contrôler le compactage de barrages ou de talus.

- 11 -

6. Procédé selon la revendication 5, caractérisé en ce que l'on effectue l'émission et/ou la réception en surface.



2/4

Fig: 4

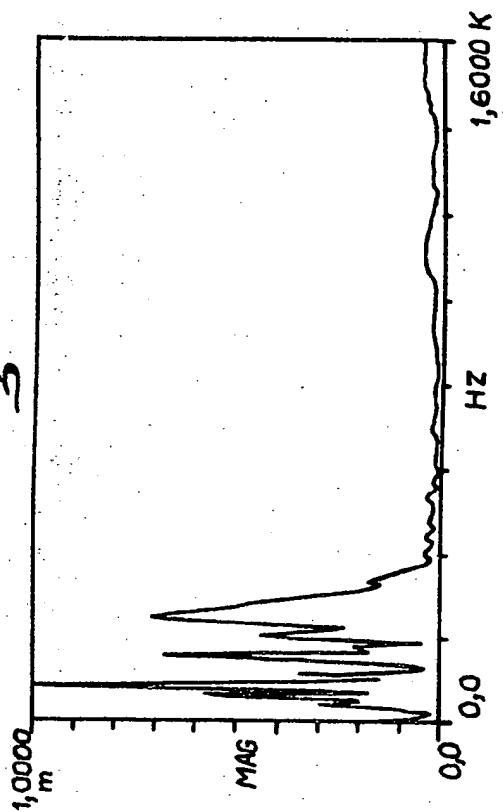


Fig: 5

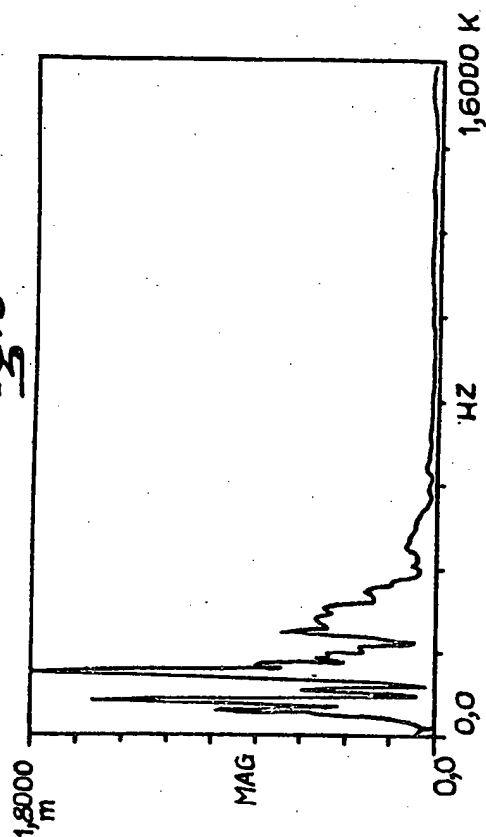


Fig: 2

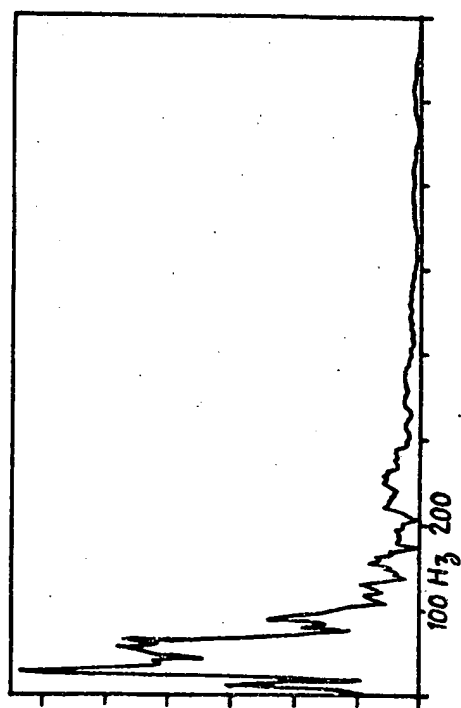
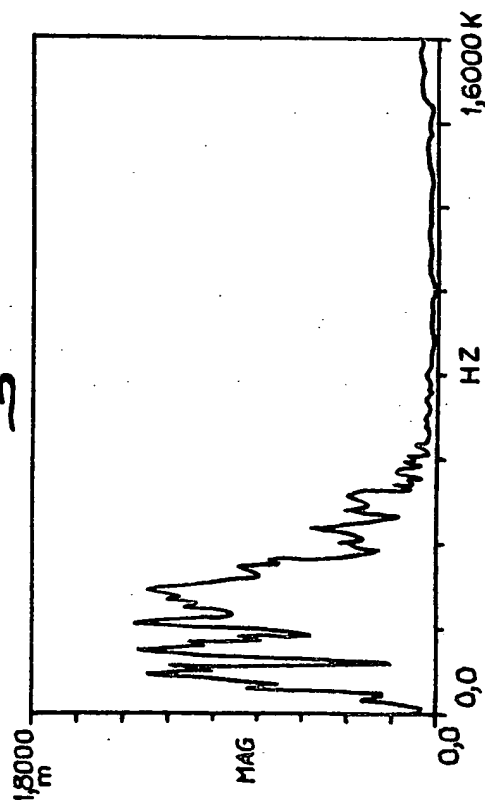


Fig: 3



3/4

Fig:8

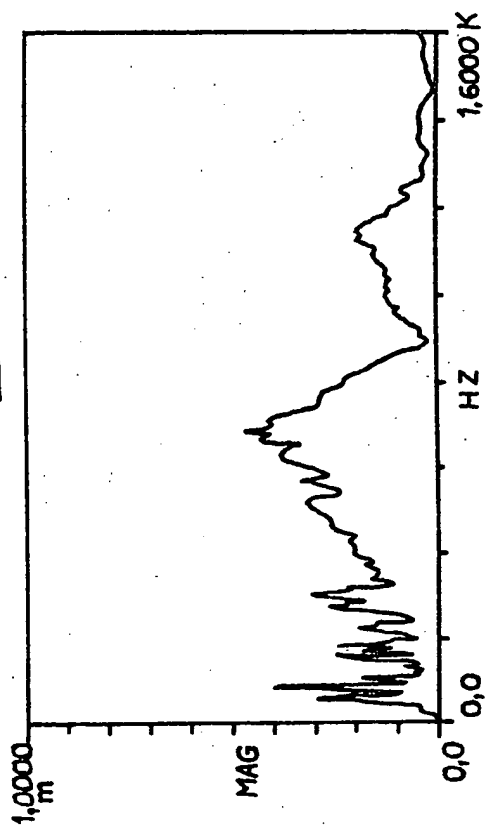


Fig:9

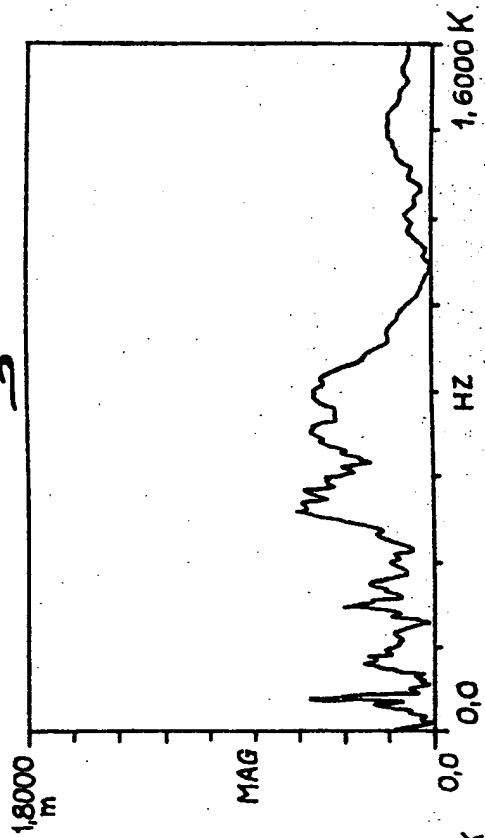


Fig:6

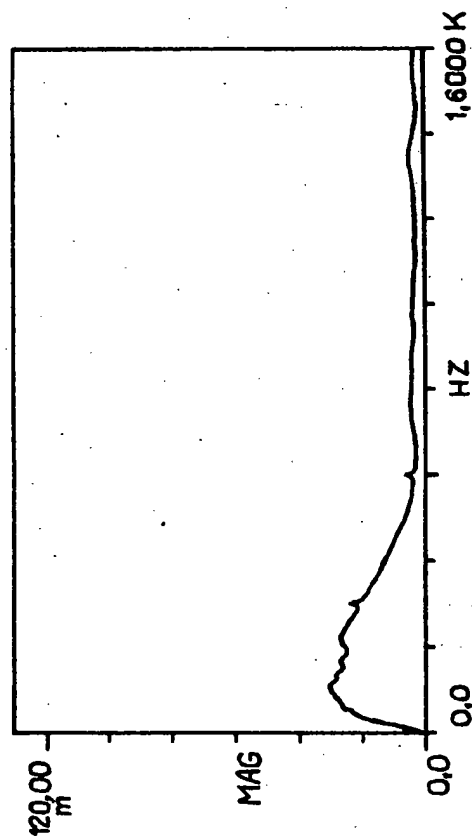
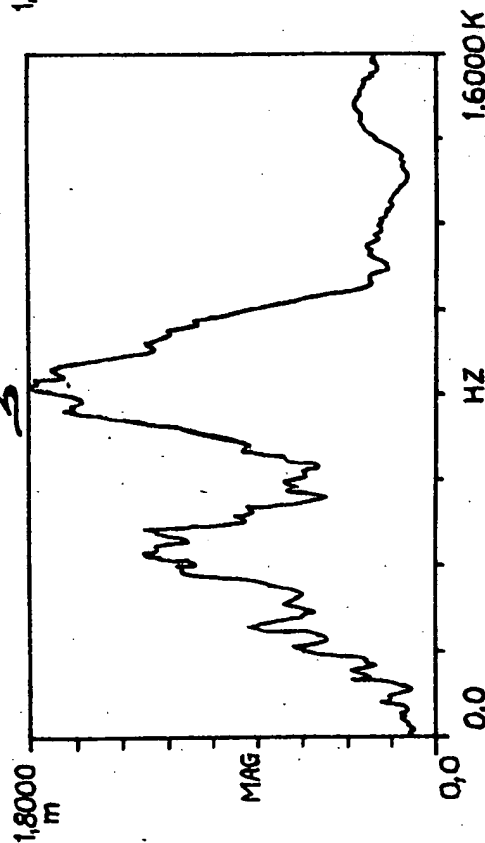
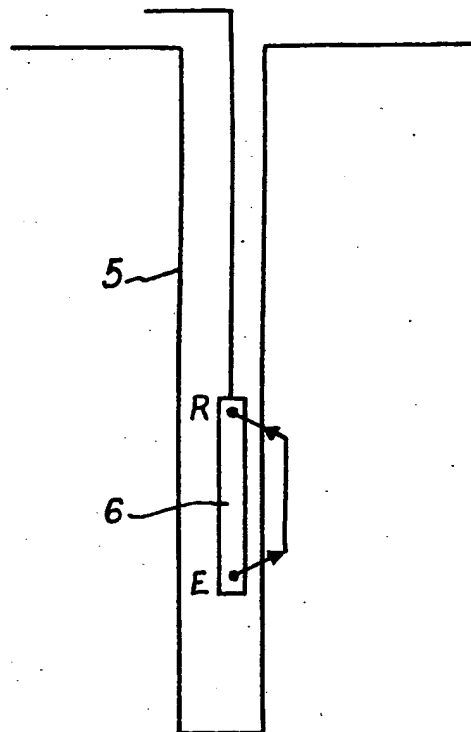
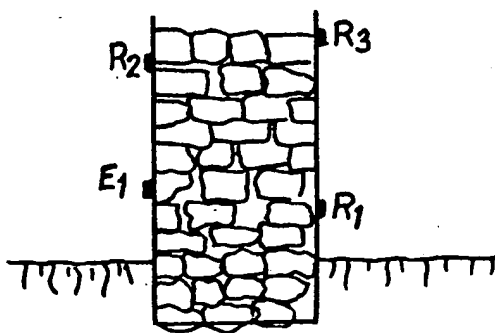


Fig:7



4/4

*Fig. 11**Fig. 12**Fig. 13*